Journal of Agroecology
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 15, No. 1, Spring 2023, p. 119-137

Evaluation of the Efficiency of Rice (*Oryza sativa* L.) Straw Checkerboard Barriers Technique on Moisture Retention, CO_2 Production, and Soil Microbial Population

Elahe Ahmadpoor Dehkordi[1], Ali Abbasi Surki[2*], Mehdi Pajouhesh[3] and Pejman Tahmasebi[4]

Received: 10-04-2021
Revised: 22-07-2021
Accepted: 08-08-2021
Available Online: 08-08-2021

How to cite this article:
Ahmadpoor Dehkordi, E., Abbasi Surki, A., Pajouhesh, M., & Tahmasebi, P. (2023). Evaluation of the efficiency of rice (*Oryza sativa* L.) straw checkerboard barriers technique on moisture retention, CO_2 production, and soil microbial population. *Journal of Agroecology 15*(1), 119-137.
DOI: 10.22067/agry.2021.69711.1035

Introduction

The incidence of drought periods and its continuity in arid and semi-arid areas is considered one of the factors affecting soil microbial population and activity and soil water content, and thus affect soil fertility and nutrient availability. Implementation of the straw checkerboard barrier technique in these areas as a cheap, effective, and easy technology has an important role in reviving soil microbial communities and desertification control. In the present study, the effect of the straw checkerboard barriers technique on moisture retention, soil microbial population and their CO_2 production was investigated.

Materials and Methods

This research was carried out in a semi-arid region prone to wind erosion with damaged soil communities, in which the straw checkered barrier technique was established to control wind erosion. For this purpose, 5 t.ha^{-1} of rice (*Oryza sativa* L.) straws were arranged in 1 m × 1 m checkerboard patterns in January 2018. This research was carried out in a part of the “ Margh” meadow the south of Shahrekord, the capital of Chaharmahal and Bakhtiari province (50° 50΄E, 32° 17΄N). Then the effect of this technique on soil microbial properties, including respiration and soil microbial biomass as well as moisture retention and aggregate stability, were considered. The same area was also dedicated for control as bare ground. Several straw squares were randomly selected, and the trend of changes in microbial respiration and soil moisture in the border of barriers, the center of barriers, and bare ground were measured in several stages. Also in the fourth stage of microbial respiration determination, microbial biomass, and aggregate stability were measured too. Microbial respiration and soil moisture data were analyzed based on a split-plot experiment in time in a randomized complete block design, and microbial biomass data and weight and geometric mean particle diameter were analyzed based on a randomized complete block design.

Results and Discussion

The results indicate that soil water content at the borders of the barriers significantly increased compared to the center of the barriers and the bare ground by 10.91% and 18.56%, respectively. Soil water content at the borders of the barriers was maintained for a longer time compared to the bare ground, but the decreasing trend of soil moisture in the bare ground was steeper over time, reaching the lowest position compared to the others. This can be attributed to the reduction of wind speed and shading of straws on the soil surface, creating a safer microclimate near the soil surface. The addition of rice straw in the form of checkered barriers to the soil significantly increased carbon mineralization compared to the bare ground in all measurement stages. In the first stage, the amount of CO2-C

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.
3 and 4- Assistant and Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, Respectively.
(*- Corresponding author's Email: abbasi@sku.ac.ir)

produced at the borders and center of the barriers increased by 37.76% and 14.69%, respectively, compared to the bare ground. On July 5th, CO2-C production decreased significantly. From July 15th to October 28th, the trend of carbon mineralization at the borders and center of the barriers and bare ground showed a steady state with lower values for the bare ground. Residue incorporation in soils may increase C mineralization and have a positive priming effect for accelerating soil organic carbon (SOC) decomposition. The establishment of straw checkerboard barriers alleviated the effects of moisture deficiency on soil microbial activity and increased carbon mineralization. The higher rates of microbial respiration in the barriers indicate the efficiency of the straws added to the soil and the better adjustment of drought conditions in the soil. The highest soil microbial biomass and aggregate stability were observed at the borders of the barriers, which was significantly different from the bare ground. The return of residues to the soil increased aggregate stability, which may be due to the improvement of organic matter and soil porosity.

Conclusion

The results of this study indicate that the implementation of straw checkerboard barriers improved the soil's biological properties, moisture content and aggregates stability and can provide a better microclimate for plant establishment and growth, which may lead to higher conservation of natural resources and sustainable production.

Keywords: Carbon mineralization, Ecological engineering, Mean weight diameter, Soil microbial activity, Soil water content

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی
جلد ۱۵، شماره ۱، بهار ۱٤۰۲، ص ۱۳۷-۱۱۹

ارزیابی کارایی تکنیک موانع شطرنجی کلش برنج (*Oryza sativa* L.) بر نگهداشت رطوبتی، میزان CO_2 و جمعیت میکروبی خاک

الهه احمدپور دهکردی[۱]، علی عباسی سورکی[۲*]، مهدی پژوهش[۳] و پژمان طهماسبی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

چکیده

بروز دوره‌های خشکی و استمرار آن در مناطق خشک و نیمه خشک یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر جمعیت و فعالیت میکروب‌های خـاک، میـزان رطوبت و متعاقب آن حاصلخیزی و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک به‌شمار می‌آید. اجرای تکنیک موانع شطرنجی کلش در این نواحی بـه‌عنـوان یـک فناوری ارزان، مؤثر و آسان، نقش مهمی در احیای جوامع میکروبی خاک و کنترل بیابان‌زایی دارد. در پژوهش حاضر، اثر تکنیک موانع شطرنجی کلـش بر نگهداشت رطوبت، جمعیت میکروبی خاک و تولید CO_2 آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در بخشی از دشت مرغ در جنوب شهر شـهرکرد مرکز استان چهارمحال و بختیاری، با مختصات جغرافیایی ۱۷ دقیقه و ۳۲ درجه عرض شمالی و ۵۰ دقیقه و ۵۰ درجه طول شرقی انجـام شـد. در ایـن منطقه نیمه خشک و مستعد فرسایش بادی با جوامع خاکی آسیب دیده، از تکنیک موانع شطرنجی کلش به‌منظور کنترل فرسایش بادی استفاده شده بود. بدین منظور کلش برنج (*Oryza sativa* L.) به‌میزان پنج تن در هکتار به‌صورت الگوی شطرنجی مربعی ۱×۱ متر در دی ماه سال ۱۳۹۶ کار گذاشـته شدند. سپس اثر این تکنیک بر خصوصیات میکروبی خاک شامل تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک و همچنین نگهداشت رطوبت و پایداری خاکدانه‌هـا مورد توجه قرار گرفت. در کنار موانع شطرنجی ایجاد شده، قطعه زمینی با ابعاد مشابه به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. چند مربع کلش به‌صورت تصادفی انتخاب و روند تغییرات تنفس میکروبی و رطوبت خاک در محدوده کنار و وسط مربعات و همچنین زمین شاهد در چند مرحله اندازه‌گیری شد. همچنـین در مرحله چهارم از تنفس میکروبی، زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد. داده‌های تنفس میکروبی و میزان رطوبت خاک به‌صـورت آزمایش اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و داده‌های زیست‌توده میکروبی و میانگین وزنی و هندسی قطر ذرات در قالـب طـرح بلوک کامل تصادفی تجزیه شدند. نتایج نشان داد، میزان رطوبت خاک در کنار موانع شطرنجی نسبت به وسط موانع و زمین شـاهد بـه‌ترتیـب ۱۰/۹۱ و ۱۸/۵۶ درصد افزایش نشان داد. رطوبت در کنار موانع برای مدت زمان طولانی‌تری نسبت به زمین شاهد حفظ شد، امّا روند کـاهش رطوبـت در زمـین شاهد تا پایان دوره شیب بیشتری داشت و میزان رطوبت آن در پایین‌ترین میزان بود. این نتیجه می‌تواند در ارتباط با کاهش سرعت بـاد و سـایه‌انـدازی کلش بر روی سطح خاک و اثر بر میکروکلیمای نزدیک سطح زمین باشد. همچنین افزودن کلش برنج به‌صورت موانع شطرنجی به خاک به‌طور معنـی-داری افزایش معدنی شدن کربن را نسبت به زمین شاهد در کلیه مراحل اندازه‌گیری به دنبال داشت. میزان CO_2-C تولید شده در مرحله اول در کنار و وسط موانع شطرنجی در مقایسه با زمین شاهد به‌ترتیب ۳۷/۷۶ و ۱۴/۶۹ درصد افزایش نشان داد. در تاریخ پنجم تیر ماه، تولید CO_2-C کاهش معنی-دار نشان داد. از تاریخ ۲۴ تیر ماه تا هفتم مهر ماه روند معدنی شدن کربن در کنار و وسط موانع شطرنجی و همچنین زمین شاهد دارای شیب هموار بود

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۳ و ۴- به‌ترتیب استادیار و دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: abbasi@sku.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.69711.1035

و خاک شاهد پایین‌ترین مقدار را نشان داد. اضافه کردن بقایا می‌تواند معدنی شدن کربن را افزایش دهد و یک آغازگر مثبت باشد که به تسریع تجزیه کربن آلی خاک کمک می‌کند. استقرار موانع شطرنجی کلش اثرات کمبود رطوبت بر فعالیت میکروب‌های خاک را کاهش و معدنی شدن کربن را افزایش داد. تفاوت بیشتر میان میزان تنفس میکروبی در موانع شطرنجی و زمین شاهد نشان‌دهنده کارآمد بودن کلش اضافه شده به خاک و تعدیل هر چه بهتر شرایط خشکی در خاک می‌باشد. همچنین بیشترین میزان زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها در کنار موانع مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با زمین شاهد داشت. بازگشت بقایا به خاک پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داد که ممکن است به‌علت بهبود ماده آلی و تخلخل خاک باشد. نتایج این بررسی حاکی از آن است که استقرار موانع شطرنجی کلش سبب بهبود خصوصیات زیستی خاک شامل تنفس و زیست‌توده میکروبی و همچنین میزان رطوبت و پایداری خاکدانه‌ها شده و می‌تواند یک میکروکلیمای بهتر برای رشد و استقرار گیاه فراهم کند و منجر به حفظ منابع طبیعی و تولید پایدار گردد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت خاک، فعالیت میکروبی خاک، معدنی شدن کربن، مهندسی اکولوژیک، میانگین وزنی قطر ذرات

مقدمه

در مقیاس جهانی، مناطق خشک و نیمه خشک تقریباً یک سوم مساحت جهان محسوب شده که همواره خاکی ضعیف داشته و در معرض بیابان‌زایی جدی قرار دارند (D'Odorico et al., 2013). پایین بودن ماده آلی خاک از یک طرف و دوره‌های خشکی از طرف دیگر، باعث بروز مشکلات شیمیایی، تغذیه‌ای و به‌ویژه بیولوژیکی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک می‌شود که به‌تدریج کاهش حاصلخیزی خاک را به دنبال دارد (Li & Sarah, 2003). تنفس و زیست‌توده میکروبی از مهم‌ترین ویژگی‌ها در تکوین خاک و فرآیند-های مهم اکوسیستم نظیر چرخه جهانی کربن، چرخه عناصر غذایی و اصلاح زیستی به‌شمار می‌آیند (Austin et al., 2004). تحقیقات نشان داده است که مواد آلی خاک منبع غذا و انرژی برای ریزجانداران هستند و محصولات جانبی متابولیت میکروبی در خاک باعث بهبود ساختمان خاک، تخلخل و افزایش خاکدانه‌سازی می‌شود (Davet, 2004).

یکی از راه‌های عملی برای بهبود ماده آلی خاک، مدیریت استفاده صحیح از بقایای گیاهی است، به‌گونه‌ای که با بازگشت این بقایا به خاک، متوسط ورودی سالانه کربن به خاک افزایش و بخشی از کربن خروجی حاصل از تجزیه میکروبی را جبران می‌نماید (Hadas et al., 2004). از جمله روش‌های مدیریتی جهت جلوگیری از بیابان‌زایی، تکنیک موانع شطرنجی (Zhang et al., 2016;Li et al., 2020) را می‌توان نام برد. این تکنیک یک فناوری ارزان، در دسترس، مؤثر و آسان بوده که به‌طور گسترده‌ای جهت کنترل جریان ذرات سطحی خاک استفاده می‌شود (Wang et al., 2020) و نقش مهمی در پروژه‌های بیابان‌زدایی ایفا می‌کند. این روش اثرات جانبی زیست‌محیطی ندارد و می‌تواند وضعیت خرد محیط‌های خاک[1] و پایداری ذرات سطحی را بهبود دهد (Li et al., 2006). در این فناوری از کلش گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، نی (*Phragmites australis* L.) و دیگر گیاهان استفاده می‌شود. در عمل کلش به‌صورت یک صفحه شطرنجی در می‌آید که نیمی از آن در زمین مدفون شده و نیمی دیگر روی زمین قرار می‌گیرد (Zhang et al., 2016). معمولاً موانع در اندازه 1m×1m یا کمی بزرگ‌تر کار گذاشته می‌شوند و ارتفاع موانع بالای سطح زمین حداقل ۰/۲ متر است (Bo et al., 2015).

میکروب‌های خاک نقش مهمی در عملکرد اکوسیستم دارند و برگشت بقایای گیاهی به خاک بر ترکیب جامعه میکروبی تأثیر می-گذارد (Sun et al., 2016) فراهمی کربن بقایای گیاهی ممکن است بسیاری از میکروب‌های خفته خاک را فعال کرده که شروع به تجدید متابولیت‌های خود و آزادسازی CO_2 از زیست‌توده میکروبی می‌کنند. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) میزان تنفس میکروبی خاک را پس از استقرار موانع شطرنجی کلش اندازه‌گیری کردند و بیان نمودند که سرعت معدنی شدن حدود ۱۵۵ درصد افزایش یافت و فعالیت میکروبی توسط موانع شطرنجی کلش بهبود یافت. همچنین استقرار موانع شطرنجی نیتروژن کل خاک را افزایش داد که به زنده-مانی جوامع میکروبی و بهبود کلی شرایط خاک کمک کرد (Li et al., 2020). در مطالعه دای و همکاران (Dai et al., 2019) میزان ماده آلی خاک پس از استقرار موانع شطرنجی کلش طی زمان به‌ویژه در لایه سطحی خاک افزایش یافت. هائو و همکاران (Hao et al., 2019) بیان نمودند که در طولانی‌مدت، برگشت بقایا به خاک به‌میزان قابل توجهی محتوای کربن آلی و زیست‌توده میکروبی خاک

1- Microenvironment

را در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر افزایش داد.

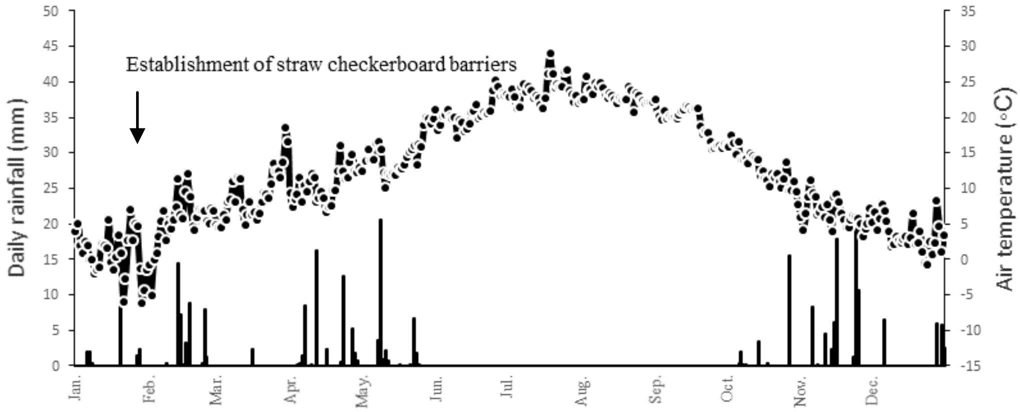
رطوبت خاک نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی و انرژی دارد و مؤثرترین عامل در رشد گیاهان است. بهبود میزان رطوبت خاک با به‌کارگیری روش‌های سازگار با محیط زیست برای دستیابی به اکوسیستم پایدار حائز اهمیت است. لی و همکاران (Li et al., 2020) بیان نمودند که تکنیک موانع شطرنجی کلش سبب کاهش میزان تبخیر از سطح خاک شده و میزان رطوبت خاک را بهبود داده و منجر به افزایش زنده‌مانی برخی از گیاهان بومی در خاک می‌شود. مقدار آب در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری خاک پس از یک سال استقرار موانع شطرنجی ۲۸ درصد افزایش پیدا کرد که ۵۸/۱ درصد از افزایش کلی در تمام دوره مطالعه را به خود اختصاص می‌دهد (Zhang et al., 2018).

تنفس میکروبی به عوامل محیطی از جمله دما و رطوبت محیط وابسته می‌باشد که هرکدام به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم بر این فرآیند مهم متابولیکی مؤثر می‌باشند. بنابراین، هر تغییری در دما، رطوبت، تهویه و زیست فراهمی عناصر ناشی از مدیریت‌های متفاوت اراضی می‌تواند اثرات مهمی بر تنفس میکروبی خاک داشته باشد (Keith et al., 1997). با توجه به تأثیرپذیری بالای فعالیت‌های میکروبی خاک از سایر خصوصیات فیزیکی آن، هر عاملی که باعث تغییر در این خصوصیات شود بر خصوصیات بیولوژیکی خاک مؤثر است. سان و همکاران (Sun et al., 2017) مشاهده نمودند که میکروب‌ها در خاک‌های تیمار شده با بقایا در مقایسه با خاک‌های تیمار نشده ثبات بیشتری در برابر خشک شدن خاک نشان دادند که نشان‌دهنده مقاومت بیشتر به خشکی است. یولی‌روآ و همکاران (Uhlirova et al., 2005) در بررسی‌های خود بیان کردند، محتوای آب خاک یکی از مهم‌ترین عواملی است که فعالیت‌های میکروبی خاک را محدود می‌کند، زیرا محتوای آب خاک به مقدار زیادی با قابلیت دسترسی پیش ماده و عناصر در ارتباط است. گایسلر و همکاران (Geisseler et al., 2011) گزارش نمودند که تنفس خاک با پتانسیل رطوبت خاک ارتباط مثبت داشت و به‌طور قابل توجهی با اضافه کردن بقایای گیاهی افزایش یافت.

در تمام اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی میکروب‌های خاک نقش بسیار مهمی را در فرآوری مواد آلی به‌عنوان ذخیره مواد غذایی و همچنین گردش طبیعی عناصر غذایی برای گیاه به عهده دارند. لذا پس از اجرای تکنیک‌های اصلاحی در خاک، اطلاع از فراوانی جمعیت و میزان فعالیت این ریزجانداران و عوامل مؤثر بر آن‌ها ضروری است. همچنین با در نظر گرفتن خشکسالی‌های اخیر اهمیت آب و اثرات احتمالی وجود این عامل محیطی بر جمعیت و فعالیت میکروبی بیش از پیش مشخص می‌شود. دشت مرغ شهرکرد در گذشته پوشش گیاهی متنوعی داشته و در حال حاضر به‌دلیل افت آب زیر زمینی، کاهش بارش، از بین رفتن پوشش گیاهی و عدم وجود تدابیر مدیریتی صحیح به منطقه‌ای نیمه بیابانی و فرسایش‌پذیر تبدیل شده که کانون جدیدی برای تولید ریزگردها است. در این منطقه تکنیک موانع شطرنجی به‌منظور کاهش فرسایش بادی و انتقال ریزگردها به اجرا درآمده است. از سوی دیگر، به‌واسطه اهمیت قابل توجه این مراتع به‌عنوان منبع کربن و نقش آن‌ها در ارائه خدمات اکولوژیکی، و با توجه اینکه کمبود آب و تغییرات آن می‌توانند تا حد زیادی بر اکسیداسیون شیمیایی ماده آلی خاک و تنفس میکروبی تأثیر بگذارد، لذا در این راستا، بررسی اثر تکنیک موانع شطرنجی بر نگهداشت نزولات آسمانی، تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک که ارتباط تنگاتنگی با سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن دارند، ضروری است تا بتوان روابط خاک-گیاه را بررسی و مدیریت نمود. بنابراین، این مطالعه به‌منظور ارزیابی کارایی اجرای موانع شطرنجی کاه و کلش بر میزان رطوبت خاک، تنفس میکروبی، زیست‌توده میکروبی، میانگین وزنی قطر ذرات و میانگین هندسی قطر ذرات در دشت مرغ شهرکرد انجام شد.

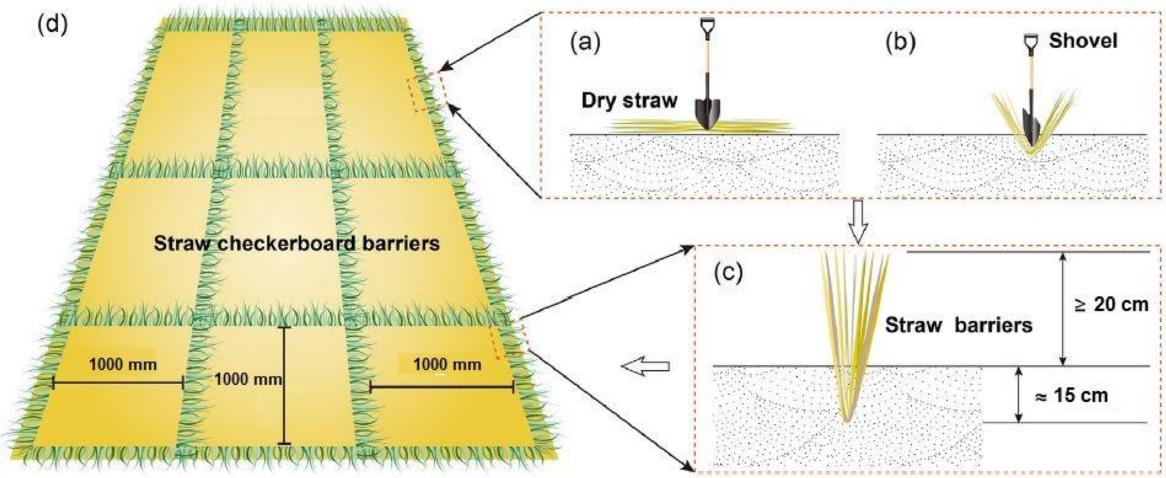
مواد و روش‌ها

محل انجام پژوهش حاضر در بخشی از دشت مرغ شهر شهرکرد، در محدوده جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی در ناحیه جنوبی این شهر بود. در منطقه مورد مطالعه میانگین درجه حرارت سالانه ۱۰/۸ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالانه بلندمدت ۳۰۶ میلی‌متر و تعداد روزهای گرد و غبار ۴۰ روز در سال است. گلباد سالانه جهت باد غالب منطقه را جنوب غربی و میانگین تندی باد را ۲/۶۴ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. میانگین درجه حرارت و بارندگی روزانه پس از استقرار موانع شطرنجی در سال ۱۳۹۶- ۱۳۹۷ در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- تغییرات درجه حرارت و بارندگی روزانه در زمان انجام آزمایش در سال ۲۰۱۸
Fig. 1- Mean daily air temperature and rainfall during the study period in 2018

این پژوهش در منطقه‌ای انجام شد که تکنیک موانع شطرنجی کلش به‌منظور کنترل فرسایش بادی در منطقه ایجاد شده بود. بدین منظور کلش‌های برنج به‌صورت دستی در تاریخ ۳۰ دی ماه ۱۳۹۶ با الگوی شطرنجی مربعی به ابعاد ۱×۱ متر در زمینی به‌مساحت ۵۰۰ مترمربع کار گذاشته شد. به‌طوری‌که ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع کلش بالای سطح خاک و ۱۵ سانتی‌متر آن در خاک مدفون گردیده بود (شکل ۲). زمینی با ابعاد مشابه نیز در کنار مربعات ایجاد شده به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در ادامه پژوهش اثر احتمالی این تکنیک بر میزان رطوبت خاک، فعالیت ریزجانداران خاک، زیست‌توده میکروبی و فراوانی جمعیت آن‌ها و همچنین میزان رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. همچنین کربن و نیتروژن کلش برنج استفاده شده نیز تعیین گردید (جدول ۲).



شکل ۲- مدل ساده اجرای تکنیک موانع شطرنجی کلش و نحوه کارگذاری آن در خاک
Fig. 2- A simple model depicting the straw checkerboard barrier technology and its installation in soil

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه و کلش برنج

Table 1- Some soil physiochemical characteristics of the study area and rice straw

	ویژگی **Property**	واحد **Unit**	مقدار **Value**
خاک **Soil**	بافت Texture	-	سیلتی لوم Silty loam
	نیتروژن کل Total N	%	0.329
	فسفر قابل دسترس Available P	$mg.kg^{-1}$	18.24
	پتاسیم قابل دسترس Available K	$mg.kg^{-1}$	500.27
	کربن آلی Organic C	%	2.99
	وزن مخصوص ظاهری Bulk density	$g.cm^{-3}$	1
	نقطه ظرفیت زراعی FC	%	30
کلش برنج **Rice straw**	کربن آلی Organic C	%	43.5
	نیتروژن کل Total N	%	0.819
	C:N	-	53.11

جهت بررسی اثر استقرار موانع شطرنجی کلش بر میزان رطوبت خاک، پنج مربع کلش به‌صورت تصادفی انتخاب و میزان رطوبت به‌صورت حجمی از تاریخ سی اردیبهشت در عمق ۱۵ سانتی‌متر در محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع و محدوده ۵۰ سانتی‌متری وسط مربعات و همچنین زمین شاهد به فاصله زمانی هر سه روز یک بار تا زمان ثابت شدن میزان رطوبت (اواسط مرداد) به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج مدل SM01, Azar-Khak-Ab urmia اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک در تاریخ ۲۱ خرداد ماه به‌روش اندرسون (Anderson, 1982) و آلف و نانی پیری (Alef & Nannipieri, 1995) انجام شد. بدین منظور ۱۰ مربع کلش به‌صورت تصادفی انتخاب و جارهایی (ظروف پلاستیکی) به قطر ۱۱ و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر که از قبل ته آن بریده شده بود، در محدوده ذکر شده کنار و وسط مربعات انتخاب شده و همچنین در ۱۰ نقطه از زمین شاهد قرار گرفتند. سپس در داخل هر جار یک ویال پلاستیکی حاوی ۲۰ میلی‌لیتر سود یک نرمال روی سطح خاک قرار داده شد. مقدار تولید CO_2 با اندازه‌گیری مقدار سود باقی‌مانده به‌روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک تعیین گردید. این اندازه‌گیری طی ۱۰ مرحله زمانی و به‌مدت پنج ماه ادامه یافت.

داده‌ها براساس آزمایش اسپلیت پلات در زمان در قالب طرح بلوک کامل تصادفی تجزیه شدند. عامل اصلی شامل فاصله از موانع در سه سطح محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع و محدوده ۵۰ سانتی‌متری وسط هر مربع و زمین شاهد و عامل فرعی زمان نمونه-برداری در نظر گرفته شد (شکل ۳).

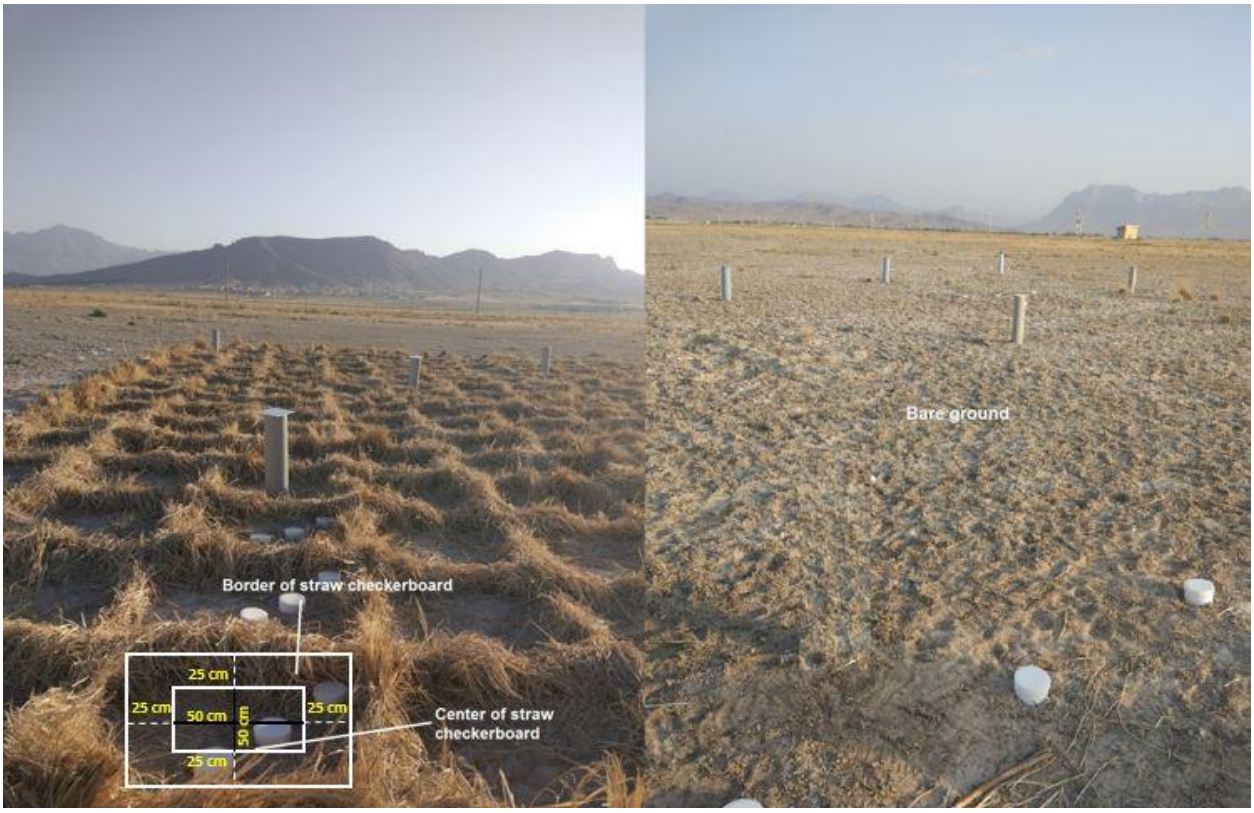
در مرحله چهارم اندازه‌گیری تنفس، زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شد. بدین منظور از عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام و زیست‌توده میکروبی به‌روش تدخین با کلروفرم-انکوباسیون (Jenkinson & Ladd, 1981) مورد سنجش قرار گرفت. پایداری خاکدانه‌ها نیز به‌روش خشک بر حسب میانگین وزنی قطر ذرات[1] (Van Bavel, 1949) و میانگین هندسی قطر ذرات[2] (Mazurak, 1950) با استفاده از دستگاه لرزاننده (مدل Retch) اندازه‌گیری و با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد:

$$\mathrm{MWD} = \sum_{i=1}^{n} Xiwi \qquad \text{(۱) معادله}$$

1- Mean Weight Diameter (MWD)
2- Geometric Mean Diameter (GMD)

$$GMD = EXP\frac{\sum_{i=1}^{n} wilogXi}{\sum_{i=1}^{n} wi}$$ معادله (۲)

که در آن، MWD و GMD: بر حسب میلی‌متر، Xi: میانگین قطر هر بخش از ذرات و w_i: وزن خشک خاکدانه‌ها در هر الک بر حسب گرم و $\sum_{i=1}^{n} wi$: وزن کل خاک است. برای صفات زیست‌توده میکروبی، میانگین وزنی قطر ذرات و میانگین هندسی قطر ذرات که در یک مرحله اندازه‌گیری گردیدند، داده‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تیمار در سه تکرار تجزیه شدند. تیمارهای آزمایشی شامل محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع و ۵۰ سانتی‌متری وسط هر مربع و زمین شاهد بود.



شکل ۳- موانع شطرنجی و نقاط نمونه برداری

Fig. 3- Straw checkerboard barriers and sampling points

تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد ارزیابی شدند.

نتایج و بحث

میزان رطوبت خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر فاصله از موانع، زمان و نیز اثر متقابل آن‌ها بر محتوای رطوبت خاک معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی روند تغییرات رطوبت خاک در عمق ۱۵ سانتی‌متر طی مدت آزمایش نشان داد که به‌طور کلی، در کلیه مراحل اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک در محدوده کنار موانع شطرنجی نسبت به وسط موانع و زمین شاهد افزایش معنی‌داری داشت و نقش کنار موانع در افزایش رطوبت مؤثرتر از سایر تیمارها بود (شکل ۴). در مرحله اول اندازه‌گیری مقدار رطوبت در کنار موانع شطرنجی در مقایسه با وسط موانع و زمین شاهد به‌ترتیب ۱۰/۹۱ و ۱۸/۵۶ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴). در مرحله دوم میزان رطوبت خاک در محدوده کنار و وسط موانع شطرنجی و زمین شاهد کاهش معنی‌دار نشان داد. این کاهش شیب تندی را در زمین شاهد نشان داد، در حالی‌که با کاربرد موانع شطرنجی این کاهش رطوبت کمی تعدیل شد. در مرحله سوم به‌دلیل بارندگی، رطوبت در هر سه تیمار افزایش یافت. پس از آن به‌طور

کلی، میزان آب خاک با گذشت زمان در کنار و وسط موانع و زمین شاهد روند کاهشی داشت، امّا رطوبت در کنار موانع بیشتر و برای مدت زمان طولانی‌تری نسبت به زمین شاهد حفظ شد. از تاریخ پنج تا ۲۹ خرداد میزان آب خاک در محدوده کنار موانع نسبتاً پایدارتر باقی ماند، امّا روند کاهش رطوبت در زمین شاهد تا پایان دوره با شیب بیشتر و در پایین‌ترین جایگاه نسبت به سایرین بود (شکل ۴).

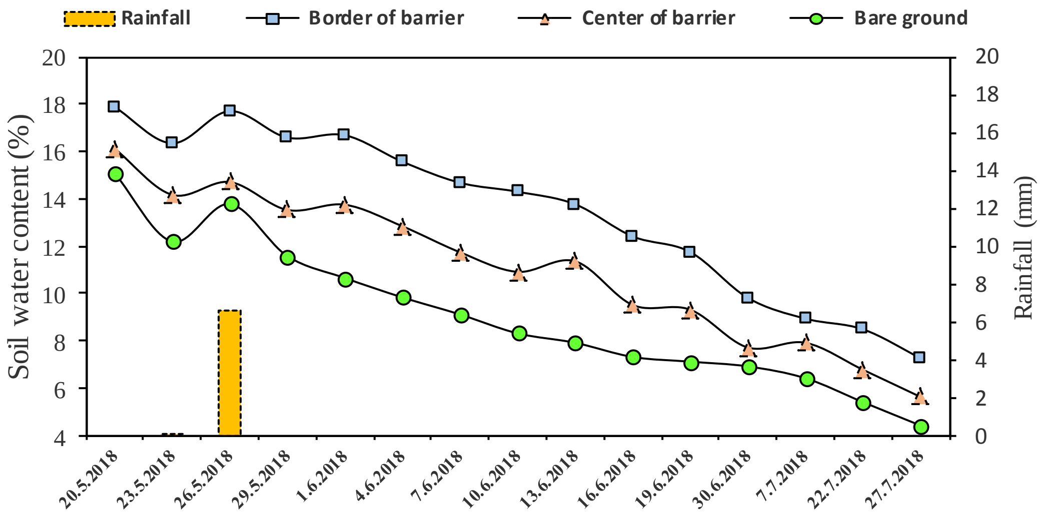
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) فاصله از موانع و زمان بر میزان رطوبت خاک

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) distance from barriers and time on soil water content

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares — میزان رطوبت خاک Soil water content (%)
تکرار Replication	4	1.788^{ns}
فاصله از مانع Distance from barrier (a)	2	366.74**
خطا a Error (a)	8	1.187
زمان Time	14	155.03**
فاصله از مانع × زمان Distance from barrier × time	28	2.39**
تکرار ×زمان Replication × time	56	1.157
خطا Error	112	0.948
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.69

ns و**: به‌ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

ns and **: indicate, respectively, no significant differences at $p\leq0.01$ probability level.



شکل ٤- میزان رطوبت خاک تحت تأثیر فاصله از موانع و زمان (LSD (5%) = 0.41)

Fig. 4- Soil water content as influenced by distance from barrier and time (LSD (5%) = 0.41)

موانع شطرنجی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بالای سطح خاک با ایجاد سایه بر روی سطح زمین تأثیر قابل توجهی بر میکروکلیمای نزدیک سطح خاک دارند. این موانع سرعت باد را کاهش داده و از هدررفت آب خاک جلوگیری می‌کند که نقش مهمی در حفظ رطوبت دارد (Facelli & Pickett, 1991). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2016) بیان نمودند که ایجاد موانع شطرنجی طول زبری آئرودینامیک را بهبود و سرعت و شدت باد را کاهش می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد که میزان رطوبت خاک در محدوده کنار موانع شطرنجی نسبت به زمین شاهد بیشتر بود. این موضوع نشان می‌دهد که موانع شطرنجی کلش در زمان‌های بدون بارندگی با کاهش تأثیر تابش خورشید بر روی خاک، کاهش سرعت تبخیر آب خاک، افزایش سرعت نفوذ و هدایت هیدرولیکی (Mando et al., 1996) و افزایش ظرفیت نگهداری آب (Döring et al., 2005) به حفظ رطوبت خاک کمک نموده و یک میکروسایت با کاهش کمتر رطوبت خاک فراهم می‌نماید. همچنین وجود احتمالی هیف‌های قارچی باعث افزایش خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان خاک می‌شوند و فرآیندهای رطوبتی-حرارتی خاک را تغییر می‌دهند (Peng et al., 2013). لی و همکاران (Li et al., 2006) و ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) ذخیره رطوبتی بیشتر در موانع شطرنجی را نسبت به زمین شاهد گزارش نمودند. موانع شطرنجی و زمین شاهد میزان بارندگی یکسانی را دریافت کرده‌اند، امّا احتمالاً ماده آلی بیشتر، پایداری بیشتر خاکدانه‌ها و بهبود سرعت نفوذ خاک در کنار موانع شطرنجی ممکن است به ذخیره رطوبتی طولانی‌تر پس از پایان بارندگی‌ها و حفظ رطوبت بیشتر در طول تابستان منجر گردد. کائو و همکاران (Cao et al., 2012) بیان نمودند که دفن یک لایه بقایا در خاک، سرعت تشکیل رواناب‌های سطحی را کاهش داده، در نتیجه باعث بهبود ذخیره آب خاک می‌شود. براساس آزمایشات مزرعه‌ای، لی و همکاران (Li et al., 2018) مشاهده کردند که موانع شطرنجی کلش گندم میزان آب خاک را در لایه‌های عمیق‌تر بهبود داد. بقایای مدفون در خاک باعث کاهش pH خاک، بهبود رطوبت خاک و افزایش رشد گیاه می‌شود (Fan et al., 2012). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018) اظهار داشتند که میزان آب در لایه سطحی خاک پس از استقرار موانع شطرنجی کلش در سال اول افزایش یافت. دس و همکاران (Das et al., 2019) نیز مشاهده کردند که میزان رطوبت خاک و ظرفیت نگهداری آب آن در تیمار کلش برنج به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در مقایسه با زمین شاهد بیشتر بود.

تولید CO_2-C

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر فاصله از موانع، زمان و نیز اثر متقابل آن‌ها بر تولید CO_2-C در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بررسی روند تنفس میکروبی طی مدت آزمایش نشان داد که افزودن کلش برنج به‌صورت موانع شطرنجی به خاک به‌طور معنی‌داری افزایش معدنی شدن کربن را نسبت به زمین شاهد در کلیه مراحل اندازه‌گیری به دنبال داشت (شکل ۵). بیشترین میزان تولید CO_2-C در اولین مرحله اندازه‌گیری و در محدوده ۲۵ سانتی‌متری کنار موانع شطرنجی مشاهده شد. میزان CO_2-C تولید شده در این مرحله در محدوده کنار و وسط موانع شطرنجی در مقایسه با زمین شاهد به‌ترتیب ۳۷/۷۶ و ۱۴/۶۹ درصد افزایش نشان داد. در تاریخ پنج تیر ماه، تولید CO_2-C کاهش معنی‌داری نشان داد (شکل ۵) که البته میزان این کاهش با فاصله از بقایا بیشتر بود. در مرحله چهارم تنفس میکروبی در محدوده کنار و وسط موانع روند افزایشی داشت. از تاریخ ۲۴ تیر ماه تا ۷ مهر ماه روند معدنی شدن کربن در کنار و وسط موانع شطرنجی و همچنین زمین شاهد دارای شیب هموار بود و خاک شاهد پایین‌ترین مقدار را نشان داد. شیب این کاهش در محدوده کنار موانع کمتر از دو تیمار دیگر بود (شکل ۵).

در مرحله اول اندازه‌گیری تنفس، CO_2 تولید شده در محدوده کنار موانع نسبت به وسط موانع و شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود زیرا اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک می‌تواند معدنی شدن کربن را افزایش دهد و به‌عنوان یک آغازگر مثبت به تسریع تجزیه کربن آلی بومی خاک به‌ویژه در خاک‌هایی با میزان بالای کربن آلی یا نسبت C:N بالا کمک کند (Zhang et al., 2012). میکروب‌های خاک، ماده آلی سخت و قدیمی خاک را با استفاده از کربن تازه بقایا به‌عنوان یک منبع انرژی تجزیه می‌کنند. به‌طور کلی، قارچ‌ها به‌دلیل تولید گسترده آنزیم‌های خارج سلولی به‌عنوان تجزیه‌کننده اصلی کاه و کلش محسوب می‌شوند (Swift et al., 1979). در مرحله دوم و سوم میزان تنفس میکروبی در محدوده کنار موانع با شیب بیشتری کاهش یافت که این کاهش ممکن است مربوط به محدودیت موقتی میزان نیتروژن باشد.

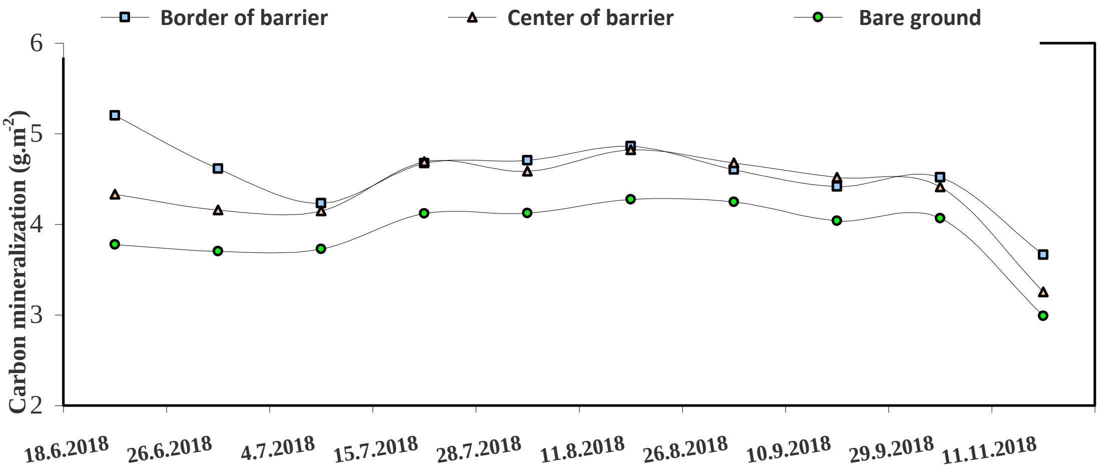
جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر فاصله از موانع و زمان بر تولید CO_2-C خاک

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) effect of distance from barriers and time on CO_2-C production

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares CO_2-C
تکرار Replication	9	0.052^{ns}
فاصله از مانع Distance from barrier (a)	2	10.923**
خطا a Error (a)	18	0.118
زمان Time	9	4.439**
فاصله از مانع × زمان Distance from barrier × time	18	0.336**
تکرار ×زمان Replication × time	81	0.048
خطا Error	162	0.062
ضریب تغییرات C.V (%)	-	5.95

ns و **: به‌ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

ns and **: indicate, respectively, no significant differences at $p \leq 0.01$ probability level.



شکل ۵- معدنی شدن کربن تحت تأثیر فاصله از موانع و زمان (LSD (5%) = 0.10)

Fig. 5- Carbon mineralization as influenced by distance from barrier and time (LSD (5%) = 0.10)

درصد نیتروژن اولیه در کلش برنج بالا بوده است، ولی به‌سرعت برای افزایش جمعیت میکروبی به مصرف رسیده است و تشکیل زیست‌توده میکروبی را موقتا به حالت تعادل نزدیک کرده است.

تجزیه میکروبی بقایای گیاهی اضافه شده به خاک تحت تأثیر عوامل بسیاری از جمله میزان رطوبت خاک قرار می‌گیرد (Bending & Turner, 1999). میزان رطوبت خاک یک ویژگی مهم در رابطه با تجزیه میکروبی بقایای اضافه شده به خاک می‌باشد و بنابراین، الگوی تجزیه و معدنی شدن را تغییر می‌دهد. در دسترس بودن

رطوبت عامل اصلی تعیین‌کننده فعالیت میکروبی و ترکیب جامعه میکروبی خاک است (Chen et al., 2012). افزایش میزان تنفس میکروبی در محدوده کنار و وسط موانع شطرنجی نسبت به زمین شاهد را می‌توان به حفظ و نگهداری هر چه بهتر رطوبت نسبت داد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، همبستگی مثبت و معنی-داری بین میزان رطوبت خاک با تنفس میکروبی ($R=0.81$, $P\leq0.01$) مشاهده شد. تفاوت بیشتر میان میزان تنفس میکروبی در موانع شطرنجی و زمین شاهد نشان‌دهنده کارآمد بودن کلش اضافه شده به خاک و تعدیل هر چه بهتر شرایط تنش در خاک می‌باشد. جوامع میکروبی در موانع شطرنجی در مقایسه با خاک شاهد نسبت به تنش رطوبتی سازگارتر شده‌اند که ناشی از تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر اضافه کردن کلش برنج می‌باشد. سان و همکاران (Sun et al., 2017) بیان نمودند که بقایای گندم با بهبود دانه‌بندی خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش داد که نشان-دهنده گیر افتادن آب در خلل و فرج ریز و متوسط خاک بود. همچنین میزان هدررفت آب در حضور بقایای گیاهی کمتر بود که می‌تواند تأثیر زیادی بر جوامع میکروبی در طول دوره خشک و تر شدن متوالی داشته باشد. تجادا و همکاران (Tejada et al., 2006) با اضافه نمودن بقایای برنج به خاک بیان نمودند که افزودن بقایا منجر به افزایش فعالیت میکروبی شده که در نهایت، افزایش پایداری ساختمان خاک را به دنبال دارد. خاکدانه‌سازی با اضافه کردن بقایای گیاهی به خاک بهبود می‌یابد (Sun et al., 2017). خاکدانه‌های بزرگ میزان تلفات آب را کاهش داده که باعث می‌شود میکروب‌ها به‌جای اینکه با خشک شدن خاک به‌سرعت دهیدراته شوند از نظر فیزیولوژیکی و ساختاری تنظیم شوند. علاوه‌براین بقایا مقادیر قابل توجهی کربن آلی برای میکروب‌ها فراهم می‌کند که به آن‌ها این امکان را می‌دهد که منابع بیشتری را به تنظیم اسمزی (Halverson et al., 2000) و تقویت دیواره سلولی (Kakumanu et al., 2013) اختصاص دهند. در مطالعه سان و همکاران (Sun et al., 2017) در خاک‌های تیمار شده با بقایای گندم، نسبت اسیدهای چرب سیکلوپروپیل به پیش ماده آن‌ها، که شاخصی از میزان تنش در خاک است کمتر بود که نشان-دهنده این موضوع بود که بقایای گندم اثرات مثبتی بر روی محیط‌واره‌های زیستگاهی از نظر هوادهی خاک و احتباس آب دارد. چن و همکاران (Chen et al., 2014) مشاهده نمودند که بقایای ذرت تا حد زیادی معدنی شدن کربن خاک، کربن زیست‌توده میکروبی، فعالیت آنزیم بتا گلوکوزیداز و اندازه جمعیت قارچ‌ها را بهبود داد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت طی زمان میزان تنفس میکروبی نیز در موانع شطرنجی و زمین شاهد کاهش یافت. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش رطوبت و کمبود آب در خاک بر فعالیت میکروبی تأثیرگذار می‌باشد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2006) بیان کردند که میزان تنفس در بهار به‌علت افزایش رطوبت و دما افزایش می‌یابد، ولی کمترین میزان تنفس خاک در اواخر تابستان که مقدار رطوبت خاک به حداقل می‌رسد، به وقوع می‌پیوندد. همچنین در طول فصول پاییز و زمستان که دمای خاک کاهش می‌یابد فعالیت و رشد ریزجانداران نیز کم می‌شود (Mishra, 2004).

چندین مکانیسم مرتبط با یکدیگر فعالیت میکروبی در خاک خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. کاهش پتانسیل آب باعث غلیظ شدن املاح در حجم کمتری از آب می‌شود که ریزجانداران را مجبور می‌کند تا با تجمع املاح، پتانسیل آب درونیشان را کاهش دهند که از نظر انرژی پر خرج است و انرژی در دسترس برای سنتز زیست‌توده را کاهش می‌دهد (Schimel et al., 2007). همچنین خشک شدن خاک انتشار پیش ماده به‌سمت ریزجانداران و آنزیم‌های خارج سلولی را محدود می‌کند، زیرا کاهش پتانسیل آب باعث می‌شود لایه‌های آب نازک‌تر و به‌طور فزاینده‌ای از هم جدا شوند و مولکول‌ها باید مسیر پر پیچ و خم‌تری را طی کنند تا از یک نقطه به نقطه دیگر پراکنده شوند که جریان پیش ماده به سطح سلول را کاهش می‌دهند (Moldrup et al., 2001). چن و همکاران (Chen et al., 2014) اظهار داشتند که با کاهش در دسترس بودن بقایا و کاهش میزان رطوبت خاک، اندازه جمعیت قارچی افزایش یافت. قارچ‌ها با تخریب سلولز و تجزیه بعدی گلوکز به CO_2 و H_2O_2، آب متابولیکی تولید می‌کنند. چندین گونه قارچ به‌دلیل توانایی‌شان در استفاده از آب متابولیکی با حداقل نیاز به آب رشد می‌کنند (Deacon, 2006). در رطوبت پایین خاک، میکروب‌های k–استراتژیست که هم کربن تازه و هم ماده آلی قدیمی و سخت را معدنی می‌کنند ممکن است تکثیر یابند و ماده آلی سخت را با استفاده از کربن بقایای تازه به‌عنوان منبع انرژی تجزیه کنند (Fontaine et al., 2003). تغییر در ترکیب جامعه میکروبی همراه با افزایش فعالیت قارچی ممکن است به فعالیت آنزیمی در خاک خشکی که به آن بقایا اضافه شده است کمک کند.

زیست‌توده میکروبی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که استقرار موانع شطرنجی کلش اثر معنی‌داری بر زیست‌توده میکروبی خاک در سطح احتمال پنج درصد داشت (جدول ۵). بیشترین میزان زیست‌توده میکروبی با میانگین ۴۶۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در محدوده کنار موانع مشاهده گردید که اختلاف معنی‌داری با زمین شاهد داشت، به‌طوری‌که میزان زیست‌توده میکروبی در این تیمار نسبت به شاهد ۷۰/۴۵ درصد افزایش یافت، اگرچه اختلاف معنی‌داری بین محدوده وسط موانع با زمین شاهد مشاهده نگردید (شکل ۶). همبستگی مثبت و معنی‌داری بین زیست‌توده میکروبی و میزان رطوبت خاک ($R=0.77$, $P\leq0.01$) مشاهده شد (جدول ۴). فراهمی رطوبت در خاک یکی از اساسی‌ترین عوامل برای فعالیت ریزجانداران خاک می‌باشد. سینگ و همکاران (Singh et al., 2006) گزارش کردند که خاک‌های تیمار شده با بقایای گیاهی در پایان دوره انکوباسیون، کربن زیست‌توده میکروبی بیشتری نسبت به زمین شاهد دارند. چن و همکاران (Chen et al., 2017) نشان دادند که بازگشت بقایای برنج به خاک به‌طور قابل توجهی کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی محلول در آب و کربن آلی کل را افزایش داد. همچنین در مطالعه آن‌ها کربن زیست‌توده میکروبی و کربن آلی کل مهم‌ترین عواملی بودند که جوامع میکروبی را تحت برگشت کوتاه‌مدت بقایا به خاک تحت تأثیر قرار دادند. همین‌طور زیست‌توده میکروبی در خاک خشک حاوی بقایا به‌طور قابل توجهی از خاک خشک بدون بقایا بالاتر بود (Geisseler et al., 2011). لیو و همکاران (Liu et al., 2009) اثرات اضافه کردن کودهای مختلف آلی از کودهای دامی و بقایای برنج به خاک را بر فعالیت میکروبی و اندازه زیست‌توده میکروبی بررسی و بیان داشتند که افزودن بقایای گیاهی به خاک باعث افزایش زیست‌توده میکروبی می‌شود. وانگ و همکاران (Wang et al., 2006) نیز بیان نمودند که بیشترین مقدار زیست‌توده میکروبی در طول آزمایش در اواخر بهار و اوایل تابستان به‌دست آمد.

میانگین وزنی قطر ذرات (MWD)

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر فاصله از موانع بر میانگین وزنی قطر ذرات (MWD) معنی‌دار بود (جدول ۵). در سیستم موانع شطرنجی میزان MWD در محدوده کنار موانع ۰/۳۳۵ میلی‌متر بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به وسط موانع و زمین شاهد افزایش یافت. همچنین اختلاف معنی‌داری بین محدوده وسط موانع و زمین شاهد ملاحظه گردید (شکل ۷). این نکته حاکی از نقش مثبت بقایای گیاهی بر پایداری خاکدانه‌هاست. پایداری خاکدانه‌ها معمولاً به‌عنوان معیاری از ساختمان‌سازی در خاک در نظر گرفته می‌شود (Six et al., 2000). مارتینز (Martens, 2000) بیان نمود که بیشترین تأثیر بقایا با گذشت زمان بر میانگین وزنی قطر ذرات مشاهده می‌شود. حضور بقایای گیاهی سبب تحریک فعالیت میکروبی شده (شکل ۵) و پایداری خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد. در همین راستا، برخی محققان بیان داشتند که مطلوب بودن بقایای گیاهی به‌شدت خاکدانه‌سازی خاک را توسط موجودات خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد (Edwards, 2004). مونرال و همکاران (Monreal et al., 1995) بیان نمودند که بقایای گیاهی نقش مهمی در پایداری خاکدانه‌های میکرو با قطر ۲۰۰-۱۰۰ میکرومتر بازی می‌کنند و مواد آلی، قارچ‌ها و ذرات خاک را در خاکدانه‌های ماکرو پایدار می‌کنند. هندریکس و همکاران (Hendrix et al., 1986) گزارش نمودند که محصولات جانبی متابولیت‌های میکروبی و گسترش میسلیوم قارچ‌ها در خاک باعث افزایش خاکدانه‌سازی و بهبود ساختمان خاک می‌شود. در این مطالعه، همبستگی مثبتی بین میانگین وزنی قطر ذرات با تنفس میکروبی و میزان رطوبت خاک مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بررسی ضرایب همبستگی (جدول ۴) نشان داد که میانگین وزنی قطر ذرات بیش از آنکه تحت تأثیر تنفس میکروبی قرار گیرد تحت تأثیر میزان رطوبت خاک قرار گرفت. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2014) بیان نمودند که بازگشت بقایا به خاک پایداری خاکدانه‌ها را افزایش داد که دلیل آن مربوط به کاهش وزن مخصوص ظاهری، بهبود ماده آلی و افزایش تخلخل خاک بود.

میانگین هندسی قطر ذرات (GMD)

میانگین هندسی قطر ذرات (GMD) تحت تأثیر فاصله از موانع قرار گرفت (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که GMD در محدوده کنار موانع اختلاف معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها داشت، به‌طوری‌که این تیمار سبب افزایش ۴۶/۹۴ درصدی نسبت به زمین شاهد شد که نشان‌دهنده تأثیر مثبت استفاده از این تکنیک بر میانگین هندسی قطر ذرات است (شکل ۸). اختلاف معنی‌داری بین محدوده کنار موانع و وسط موانع مشاهده نشد. مقادیر بزرگ‌تر میانگین هندسی قطر ذرات نشان‌دهنده پایداری بیشتر خاک

است. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میانگین هندسی قطر ذرات با تـنفس میکروبـی (R=0.86, P≤0.01)، زیسـت‌تـوده میکروبـی (R=0.89, P≤0.01) و میـزان رطوبـت خـاک (R=0.74, P≤0.05) مشاهده شد (جدول ۴). زیست‌توده میکروبـی در مقاومـت و پایـداری خاکدانه‌ها بسیار مؤثر می‌باشد، به‌طوری‌که نشانه‌گذاری بـا کـربن ۱۴ نشان داد که ترکیباتی که باعث افزایش مقدار خاکدانه مقاوم در خاک می‌شوند، زنجیره‌هـای پلـی‌سـاکاریدی جدیـد سـنتز شـده بـه‌وسـیله ریزجانداران هستند (Liu et al., 2009).

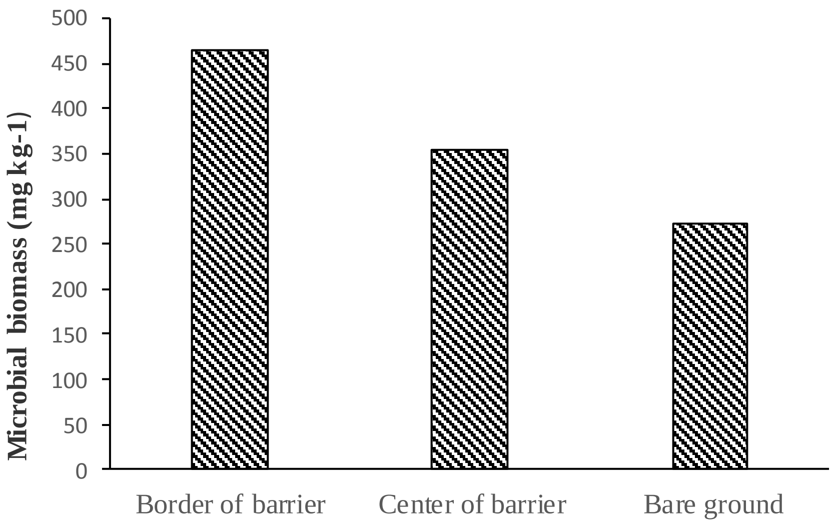
جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) فاصله از موانع بر زیست‌توده میکروبی خاک، میانگین وزنی و هندسی قطر ذرات

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) distance from barriers on microbial biomass, MWD and GMD

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square		
		زیست‌توده میکروبی Microbial biomass	میانگین وزنی قطر ذرات MWD	میانگین هندسی قطر ذرات GMD
تکرار Replication	2	2089.85^{ns}	0.003^{ns}	0.002^{ns}
فاصله از مانع Distance from barrier	2	28006.01^{*}	0.016^{**}	0.017^{**}
خطا Error	4	2696.58	0.0006	0.0003
ضریب تغییرات C.V (%)	-	14.26	9.49	4.44

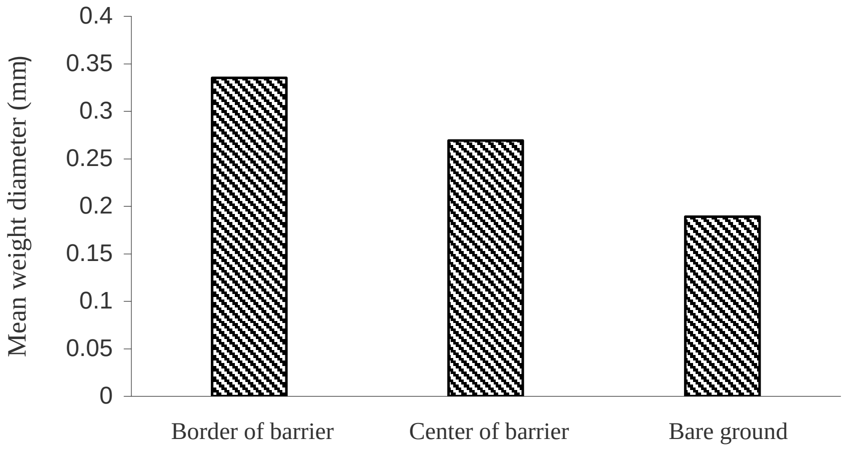
ns و **: به‌ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشند.

ns and **: indicate, respectively, no significant differences at P≤0.01 probability level.



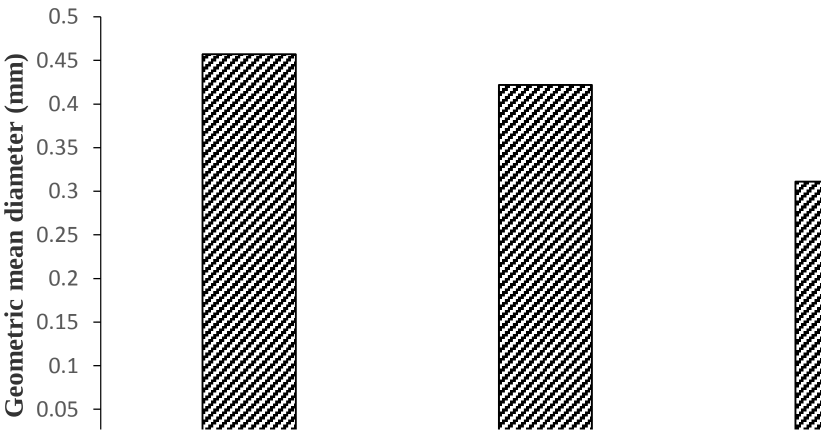
شکل ٦- اثر فاصله از مانع بر زیست‌توده میکروبی خاک (LSD (5%) = 117.72)

Fig. 6-. Effect of distance from barrier on soil microbial biomass (LSD (5%) = 117.72)



شکل ۷- اثر فاصله از مانع بر میانگین وزنی قطر ذرات (LSD (5%) = 0.06)

Fig. 7- Effect of distance from barrier on mean weight diameter (LSD (5%) = 0.06)



شکل ۸- اثر فاصله از مانع بر میانگین هندسی قطر ذرات (LSD (5%) = 0.41)

Fig. 8- Effect of distance from barrier on geometric mean diameter (LSD (5%) = 0.41)

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین صفات میزان رطوبت خاک، تنفس میکروبی، زیست‌توده میکروبی، میانگین وزنی و هندسی قطر ذرات

Table 5- Correlation coefficients between soil water content, microbial respiration, microbial biomass, MWD and GMD

متغیرها Variable	میزان رطوبت خاک Soil water content	تنفس میکروبی Microbial respiration	زیست‌توده میکروبی Microbial biomass	میانگین وزنی قطر ذرات MWD	میانگین هندسی قطر ذرات GMD
میزان رطوبت خاک Soil water content	1				
تنفس میکروبی Microbial respiration	0.81**	1			
زیست‌توده میکروبی Microbial biomass	0.77**	0.63ns	1		
میانگین وزنی قطر ذرات MWD	0.90**	0.76**	0.64ns	1	
میانگین هندسی قطر ذرات GMD	0.89**	0.86**	0.74*	0.92**	1

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: indicate, respectively, no significant differences at $p \leq 0.01$ and differences at $P \leq 0.05$ probability level.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، کارایی تکنیک موانع شطرنجی بر نگهداشت رطوبتی، روند تولید CO_2، زیست‌توده میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها بررسی و مشخص شد که این تکنیک باعث افزایش معنی‌دار صفات مورد بررسی در مقایسه با زمین شاهد شد. رطوبت در محدوده کنار موانع بیشتر و برای مدت زمان طولانی‌تر نسبت به زمین شاهد حفظ شد. در مرحله اول اندازه‌گیری مقدار رطوبت در محدوده کنار موانع شطرنجی در مقایسه با وسط موانع و زمین شاهد به‌ترتیب ۱۰/۹۱ و ۱۸/۵۶ درصد افزایش نشان داد که دلیل آن را می‌توان به کاهش سرعت باد و سایه‌اندازی کلش بر روی سطح و تأثیر بر میکروکلیمای نزدیک سطح خاک نسبت داد. همچنین استقرار موانع شطرنجی اثرات ناشی از کمبود رطوبت را بر میکروب‌های خاک کاهش داد و افزایش معدنی شدن کربن را به دنبال داشت. در سیستم موانع شطرنجی میزان MWD در کنار موانع ۰/۳۳۵ میلی‌متر بود که به‌طور معنی‌داری نسبت به وسط موانع و زمین شاهد افزایش یافت. همچنین GMD در محدوده کنار موانع مقادیر بالاتری را نشان داد، به‌طوری‌که این تیمار سبب افزایش ۴۶/۹۴ درصدی نسبت به زمین شاهد شد. بنابراین، این تکنیک روشی مؤثر برای کنترل بیابان‌زایی در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک می‌باشد. این اطلاعات یک رویکرد مطلوب مهندسی اکولوژیک را برای مناطق خشک و نیمه خشک ایجاد می‌نماید که ممکن است بتواند در این مناطق علاوه‌براین مزایا، استقرار گیاه را افزایش و یک استراتژی بلندمدت و پایدار فراهم کند.

سپاسگزاری

از دانشگاه شهرکرد به‌خاطر حمایت‌های مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

Reference

Anderson, J.P.E. (1982). Soil respiration. In R.H. Miller & D.R. Keeney (Eds), Methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties. *The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*, p. 831-871.

Austin, A.T., ahdjian, L.Y., Stark, J.M., Belnap, J., Porporato, A., Norton, U., Ravetta, D.A., & Schaeffer, S.M.(2004). Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. *Oecologia*, *141*, 221-235. https://doi.org/10.1007/s00442-004-1519-1.

Alef, K., & Nannipieri, P.(1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. *Academic Press, London, UK.* 556 pp.

Bending, G.D., & Turner, M.K.(1999). Interaction of biochemical quality and particle size of crop residues and its effect on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. *Biology and Fertility of Soils, 29*, 319–327. https://doi.org/10.1007/s003740050559 .

Bo, T.L., Ma, P., & Zheng, X.J.(2015). Numerical study on the effect of semi-buried straw checkerboard sand barriers belt on the wind speed. *Aeolian Research*, *16*, 101–107. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.10.002 .

Cao, J., Liu, C., Zhang, W., & Guo, Y.(2012). Effect of integrating straw into agricultural soils on soil infiltration and evaporation. *Water Science and Technology*, 65: 2213–2218. https://doi.org/10.2166/wst.2012.140 .

Chen, L., Zhang, J.B., Zhao, B.Z., Xin, X.L., Zhou, G.X., Tan, J.F. & Zhao, J.H. (2014). Carbon mineralization and microbial attributes in straw-amended soils as affected by moisture levels. *Pedosphere*, *24*, 167–177. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60003-5 .

Chen, Q.H., Feng, Y., Zhang, Y.P., Zhang, Q.C., Shamsi, I.H., Zhang, Y.S., & Lin, X.Y.(2012). Short-term responses of nitrogen mineralization and microbial community to moisture regimes in greenhouse vegetable soils. *Pedosphere, 22*, 263–272. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60013-7.

Chen, Y., Xin, L., Liu, J., Yuan, M., Liu, S., Jiang, W., & Chen, J.(2017). Changes in bacterial community of soil induced by long-term straw returning. *Scientia Agricola*, *74*, 349-356. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0025 .

D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., & Runyan, C.W.(2013). Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources*, *51*, 326–344. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.01.013 .

Dai, Y., Dong, Z., Li, H., He, Y., Li, J., & Guo, J.(2019). Effects of checkerboard barriers on the distribution of aeolian

sandy soil particles and soil organic carbon. *Geomorphology, 338,* 79–87. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.016.

Das, A., Layek, J., Ramkrushna, G.I., Rangappa, K., Lal, R., Ghosh, P.K., Choudhury, B.U., Mandal, S., Ngangom, B., Dey, U., & Prakash, N.(2019). Effects of tillage and rice residue management practices on lentil root architecture, productivity and soil properties in India's Lower Himalayas. *Soil and Tillage Research*, *194*, 104313. https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104313.

Deacon, J.W.(2006). Fungal Biology. Blackwell Publishing, Malden, MA, 371 pp.

Döring, T.F., Brandt, M., Heß, J., Finckh, M.R., & Saucke, H. (2005). Effects of straw mulch on soil nitrate dynamics, weeds, and yield and soil erosion in organically grown potatoes. *Field Crop Research*, *94*, 238–249. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.006.

Edwards, C.A.(2004). Earthworm Ecology. 3rd ed., *CRC Press, Boca Raton, FL*. 441 p.

Facelli, J.M., & Pickett, S.T.A. (1991). Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. *The Botanical Review, 57*, 1–32. https://doi.org/10.1007/BF02858763.

Fan, F., Xu, S., Song, G., Zhang, Q., Hou, M., & Song, X.(2012). Studies on improvement of saline and alkali soil with the interlayer of maize straw in West Liaohe region. *Chinese Journal of Soil Science, 43,* 696–701. (In Chinese with English Summary)

Fontaine, S., Mariotti, A., & Abbadie, L.(2003). The priming effect of organic matter: A question of microbial competition? *Soil Biology and Biochemistry, 35*, 837–843. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00123-8.

Geisseler, D., Horwath, W.R., & Scow, K.M.(2011). Soil moisture and plant residue addition interact in their effect on extracellular enzyme activity. *Pedobiologia, 54*, 71–78. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2010.10.001.

Hadas, A., Kautsky, L., Goek, M., & Kara, E.E.(2004). Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry, 36*, 255-266. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.09.012.

Halverson, L.J., Jones, T.M., & Firestone, M.K.(2000). Release of intracellular solutes by four soil bacteria exposed to dilution stress. *Soil Science Society of America, 64*, 1630–1637. https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451630x.

Hao, M., Hu, H., Liu, Z., Dong, Q., Sun, K., Feng, Y., Li, G., & Ning, T.(2019). Shifts in microbial community and carbon sequestration in farmland soil under long-term conservation tillage and straw returning. *Applied Soil Ecology, 136*, 43-54. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.12.016.

Hendrix, P.F., Parmelee, R.W., Crossley, J.D.A., Coleman, D.C., Odum, E.P., & Groffman, P.M.(1986). Detritus foodwebs in conventional and no-tillage agroecosystems. *Bioscience*, *36*, 374-380. https://doi.org/10.2307/1310259.

Jenkinson, D. S., & Ladd, J.N.(1981). Microbial biomass in soil: measurement and turnover: In E. A. Paul and N. Ladd (Eds.). Soil Biochemistry. *Marcel Dekker Pub., New York*. p. 415-471.

Kakumanu, M.L., Cantrell, C.L., & Williams, M.A.(2013). Microbial community response to varying magnitudes of desiccation in soil: A test of the osmolyte accumulation hypothesis. *Soil Biology and Biochemistry*, *57*, 644–653. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.08.014.

Keeney, D.R., & Nelson, D.W.(1982). Nitrogen: inorganic forms. In A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). Methods of soil analysis. Part 2 (2nd Ed). Chemical and microbiological properties. *American Society of Agronomy, Madison, Wisconson, USA*, p. 643-698.

Keith, H., Jacobsen, K.L., & Raison, R.J.(1997). Effects of soil phosphorus availability, temperature and moisture on soil respiration in Eucalyptus pauciflora forest. *Plan and Soil, 190,* 127-141. https://doi.org/10.1023/A:1004279300622.

Klute, A.(1982). Soil pH & lime requirement. pp. 199-224. In E.O. Mclean (Ed.). Methods of soil analysis part 2. Chemical and microbiological properties. *The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*.

Li, S., Li, C., Yao, D., & Wang, S.(2020). Feasibility of microbially induced carbonate precipitation and straw checkerboard barriers on desertification control and ecological restoration. *Ecological Engineering*. *152*, 105883. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105883.

Li, X., & Sarah, P.(2003). Arylsulfatase activity of soil microbial biomass along a Mediterranean-arid transect. *Soil*

Biology and Biochemistry, *35*, 925-934. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(03)00143-3.

Li, X., Zhou, R., Jiang, H., Zhou, D., Zhang, X., Xie, Y., Gao, W., Shi, J., Wang, Y., Wang, J., Dong, R., Byambaa, G., Wang, J., Wu, Z., & Hai, C.(2018). Quantitative analysis of how different checkerboard sand barrier materials influence soil properties: A study from the eastern edge of the Tengger Desert, China. *Environmental Earth Sciences*, *77*, 481. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7653-6.

Li, X.R., Xiao, H.L., He, M.Z., & Zhang, J.G.(2006). Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions. *Ecological Engineering*, *28*, 149–157. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.05.020.

Liu, M., Hu, F., Chen, X., Huang, Q., Jiao, J., Zhang, B., & Li, H.(2009). Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: The influence of quantity, type and application time of organic amendments. *Applied Soil Ecology*, *42*, 165-175. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.03.006.

Mando, A., Strosnijder, L., & Brussard, L.(1996). Effects of termites on infiltration into crushed soil. *Geoderma*, *74*, 107–113. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(96)00058-4.

Martens, D.A., 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, *32*, 361-369. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00162-5.

Mishra, R.R.(2004). Soil Microbiology: (4th Ed.). CBS Publishers and Distributors, New Delhi, India. 424 pp.

Moldrup, P., Olesen, T., Komatsu, T., Schjønning, P., & Rolston, D.E.(2001). Tortuosity, diffusivity, and permeability in the soil liquid and gaseous phases. *Soil Science Society of America Journal*, *65*, 613–623. https://doi.org/10.2136/sssaj2001.653613x.

Monreal, C.M., Schnitzer, M., Schulten, H.R., Campbell, C. A., & Anderson, D.W.(1995). Soil organic structures in macro and micro aggregates of a cultivated brown chernozem. *Soil Biology and Biochemistry*, *27*, 845-853. https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)00220-U.

Peng, S., Guo, T., & Liu, G. (2013). The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in southwest China. *Soil Biology and Biochemistry*, *57*, 411–417. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.10.026.

Schimel, J., Balser, T.C., & Wallenstein, M.(2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology*, *88*, 1386–1394. https://doi.org/10.1890/06-0219.

Singh, B., Rengel, Z., & Bowden, J.W.(2006). Carbon, nitrogen and sulphur cycling following incorporation of canola residue of different sizes into a nutrient-poor sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*, 32-42. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.03.025.

Six, J., Elliot, E.T., & Paustian, K.(2000). Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, *64*, 1042-1049. https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6431042x.

Sun, C.L., Liu, G.B., & Xue, S.(2016). Natural succession of grassland on the Loess Plateau of China affects multifractal characteristics of soil particle-size distribution and soil nutrients. *Ecological Research*, *31*, 891–902. https://doi.org/10.1007/s11284-016-1399-y.

Sun, D., Li, K., Bi, Q., Zhu, J., Zhang, Q., Jin, C., Lu, L., & Lin, X.(2017). Effects of organic amendment on soil aggregation and microbial community composition during drying-rewetting alternation. *Science of the Total Environment*, *574*, 735–743. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.112.

Swift, M.J., Heal, O.W., & Anderson, J.M.(1979). Decomposition in Terrestrial Ecosystems. *Blackwell, Oxford*. 372 pp.

Tejada, M., Hernandez, M.T., and Garcia, C.(2009). Soil restoration using composted plant residues: Effects on soil properties. *Soil and Tillage Research*, *102*, 109-117. https://doi.org/10.1016/j.still.2008.08.004.

Uhlirova, E., Elhottova, D., Triska, J., & Santruckova, H.(2005). Physiology and microbial community structure in soil at extreme water content. *Folia Microbiology*, *50*, 161-166. https://doi.org/10.1007/BF02931466.

Wang, T., Qu, J., & Niu, Q. (2020). Comparative study of the shelter efficacy of straw checkerboard barriers and rocky checkerboard barriers in a wind tunnel. *Aeolian Research*, *43*, 100575. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100575.

Wang, W., Guo, J.X., Feng, J., & Oikawa, T.(2006). Contribution of root respiration to total soil respiration in a *Leymus*

chinesis (Trin.) Tzvel. grassland of northeast China. *Journal of Integrative Plant Biology*, *48*, 409-414. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00241.x.

Zhang, C., Qing Li, Q., Zhou, N., Zhang, J., Kang, L., Shen, Y., & Jia, W.(2016). Field observations of wind profiles and sand fluxes above the windward slope of a sand dune before and after the establishment of semi-buried straw checkerboard barriers. *Aeolian Research*, *20*, 59–70. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.11.003.

Zhang, P., Wei, T., Jia, Z., Han, Q., & Ren, X. (2014). Soil aggregate and crop yield changes with different rates of straw incorporation in semiarid areas of northwest China. *Geoderma*, 230-231, 41–49. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.007.

Zhang, Q.C., Shamsi, I.H., Xu, D.T., Wang, G.H., Lin, X.Y., Jilani, G., Hussain, N., & Chaudhry, A.N.(2012). Chemical fertilizer and organic manure inputs in soil exhibit a vice versa pattern of microbial community structure. *Applied Soil Ecology*, *57*. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.02.012.

Zhang2018, S., Ding, G., Yu, M., Gao, G., Zhao, Y., Wu, G., & Wang, L.(2018). Effect of straw checkerboards on wind proofing, sand fixation, and ecological restoration in shifting sandy land. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*, 2184. https://doi.org/10.3390/ijerph15102184.